УДК 622:621.316.72:621.3.076

Д.М.ТАРАСОВ, М.М.ВОЛОШКИН
Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В.Плеханова (технический университет)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РПН ТРАНСФОРМАТОРОВ

Рассмотрено обеспечение рационального режима напряжения посредством автоматического изменения коэффициента трансформации силового трансформатора под нагрузкой (РПН) в условиях вариации параметров нагрузки и конфигурации питающих линий. Предложена методика выбора определяющего режим напряжения присоединения в системе электроснабжения предприятий по добыче, транспортировке и переработке полезных ископаемых с применением методов теории нечетких множеств. Использованы параметры, позволяющие описать состояние распределительных линий и электроприемников, рассредоточение нагрузки вдоль них, ущерб при отклонении напряжения от рационального уровня в реальном режиме времени.

Приведена структура системы управления, построенная на базе нечеткой логики. Даны графики функций принадлежности пяти параметров, совокупность которых определяет режим линии энергоснабжения.

The given work is devoted to a group regulation of a voltage on trunks by automatic changing of transformation factor of the power transformer under loading, at a deviation of a voltage level from rational. In the work the technique of a choice determining the operation condition of voltage connection based on rules of the theory of not precise sets is offered, it will allow correctly to choose a line of power supply on which the management of factor of transformation of the device is conducted.

The structure of a control system constructed on the basis of indistinct logic is given. The diagrams of functions of an belonging functions with five parameters are given, which set determines a mode of a line of power supply.

Концепция рационального управления режимом напряжения предприятий по добыче, транспортировке и переработке полезных ископаемых основана на приближении режима к рациональному уровню всей совокупности электроприемников путем обеспечения надежного снабжения потребителей электрической энергией требуемого качества при соблюдении ограничений, вводимых энергосистемой, и минимально возможных эксплуатационных затратах. При этом необходимо учитывать категорийность энергообъектов по надежности и бесперебойности, разнородности и разновременности нагрузки и конфигурации системы электроснабжения. Режим напряжения должен быть допустимым по условию устойчивости, надежности электроснабжения и наиболее экономичным среди режимов. Наиболее экономичный режим обеспечивает минимум потерь активной мощности при заданной в каждый момент времени нагрузке потребителей и ограничениях энергосистемы.

Наиболее экономически рациональным методом группового регулирования напряжения на шинах главной понизительной подстанции (ГПП) представляется метод управления напряжением при помощи устройства регулирования напряжения под нагрузкой путем автоматического изменения коэффициента трансформации при отклонении уровня напряжения от рационального на шинах ГПП.

Однако при практическом внедрении данного метода на предприятиях горной промышленности возникает проблема с корректным выбором линии энергоснабжения, по которой будет вестись управление

коэффициентом трансформации силовых трансформаторов под нагрузкой. Это обусловлено тем, что в условиях промышленных предприятий изменение конфигурации сети электроснабжения, состава и мощности электроприемников происходит в течение всего времени их работы и носит вероятностный характер.

Использование математических методов и теории оптимизации позволяет эффективно принимать решения только в тех условиях, когда параметры системы известны или их можно представить в виде фиксированных значений. Использование только детерминированных методов и моделей заставляет вносить определенность в те ситуации, в которых ее в действительности не существует.

Методики, построенные на положениях теории нечетких множеств, дают возможность использовать приближенные, но в то же время обладающие достаточной степенью эффективности способы описания плохо определенных систем, для анализа которых невозможно применять стандартные количественные математические методы. При этом все теоретические обоснования данного подхода достаточно точны и не являются сами по себе источником неопределенности.

Поддержание в системе электроснабжения режима напряжения, близкого к рациональному, с использованием существующих средств регулирования режима напряжения, предлагается осуществлять путем выбора питающей линии, определяющей режим напряжения, с применением методов нечеткой логики. Используют параметры, позволяющие описать состояние линии с учетом вариации нагрузки в реальном режиме времени. На основании данных о выбранной линии следует определить рациональный режим напряжения с учетом работы местных средств регулирования, уставку срабатывания для автоматического устройства РПН силовых трансформаторов и произвести коррекцию напряжения, обеспечивающую приближение фактического режима к экономически рациональному (рис.1).

Режим напряжения в линии, учитывающий совокупность пяти параметров: S – мощность нагрузки, подключенной к питающей линии; L – длина отдельного присоединения; K – ущерб при отклонении напряжения от рационального уровня; $P(U)$ – регулируемые эффекты нагрузки по напряжению; R – параметр, характеризующий распределение электрической нагрузки вдоль присоединения, – характеризуется пятью термами: очень тяжелый, тяжелый, средний, легкий и очень легкий.

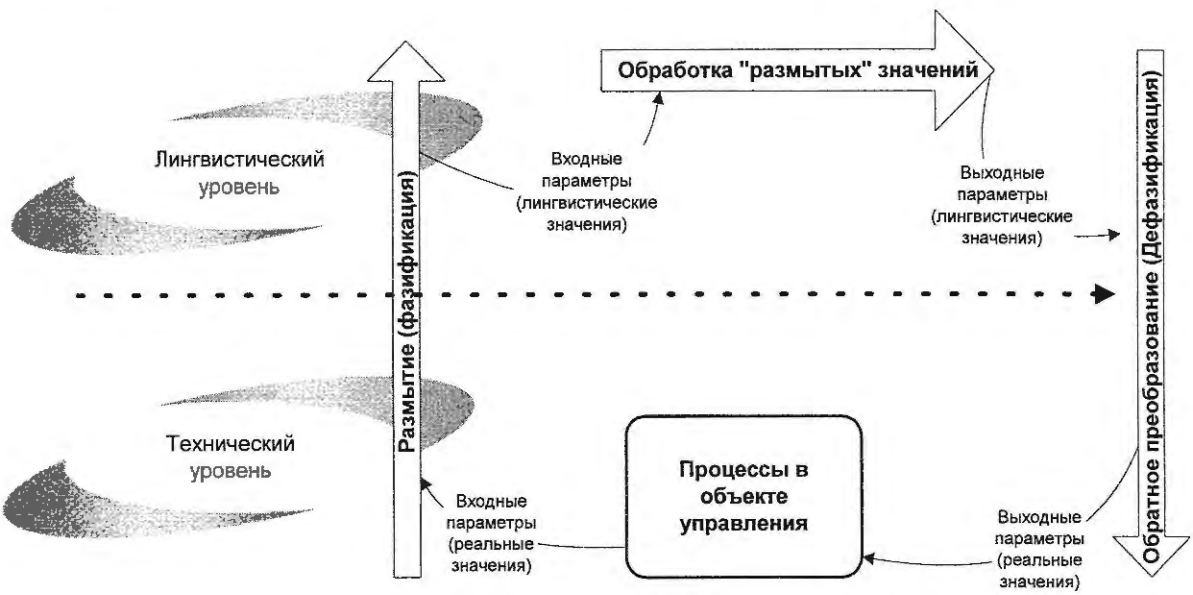


Рис.1. Структура системы управления, использующей нечеткую логику

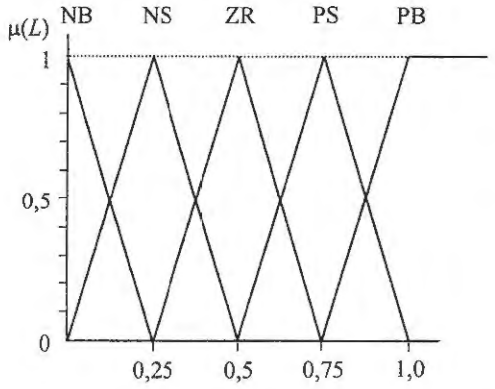


Рис.2. Функция принадлежности длины линии μ(*L*)

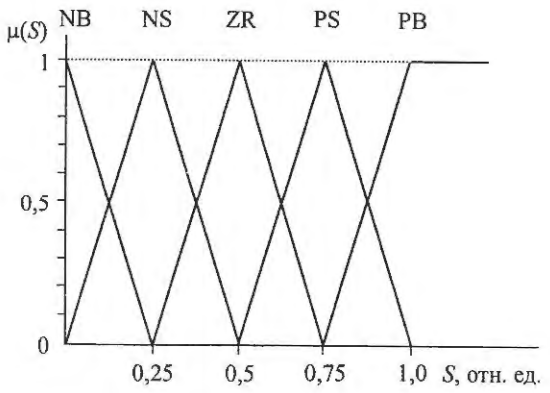


Рис.3. Функция принадлежности мощности нагрузки μ(S)

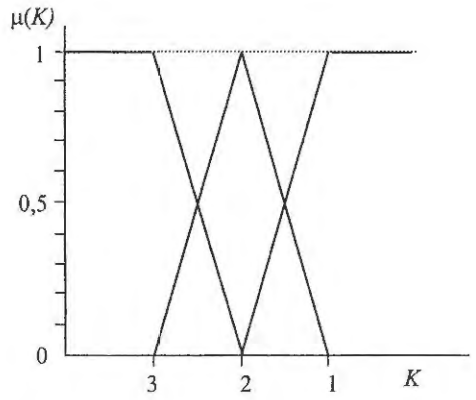


Рис.4. Функция принадлежности категории энергообъекта по ущербу при отклонении напряжения от рационального уровня μ(*K*)

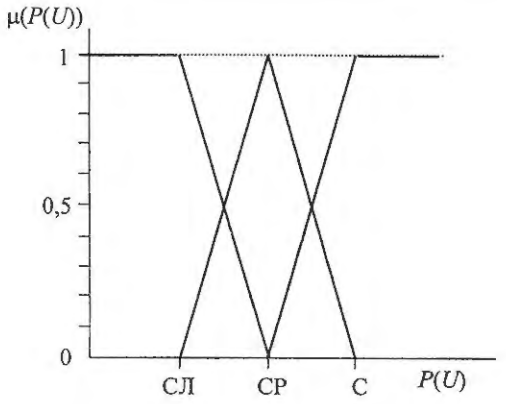


Рис.5. Функция принадлежности зависимости электрической нагрузки от уровня напряжения μ(*P*(*U*))

Для каждого параметра составлены функции принадлежности μ(*S*), μ(*L*), μ(*K*), μ(*P*(*U*)) и μ(*R*).

Интервал возможного изменения мощности нагрузки и длины линии может быть разбит на пять термов: 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 отн. ед. (рис.2, 3). За базис мощности принимается максимальная мощность всей совокупности электроприемников; за базис длины – максимальная длина до энергообъекта. Мощность нагрузки отходящих линий можно получить на основе данных от первичных датчиков тока и напряжения, входящих в состав существующей автоматической системы управления электроэнергией или размещенных в точке контроля. Информация о длине всех контролируемых линий заносится в базу данных (БД).

Категория энергообъекта по ущербу при отклонении напряжения от рационального уровня (*K*) присваивается каждому потребителю при анализе энергопотребителей и создании БД. Всю зону ущербов можно разделить на три терма и каждой присвоить свою категорию: большой (1), средний (2), малый (3). Терм-множество *K* представлено на рис.4.

Терм-множество *P*(*U*) зависимости электрической нагрузки от уровня напряжения состоит из трех отдельных термов: нагрузка сильная (С), средняя (СР), слабая (СЛ) (рис.5).

Распределение нагрузки вдоль линии представлено тремя термами (*j*2 = 3): нагрузка сосредоточена в начале линии (Н), распределена вдоль линии (Р), сосредоточена в конце (К) (рис.6). Составляя логический вывод, необходимо учитывать, что при изменении конфигурации линии, нагрузочных узлов и вариации напряжения в центре пи-

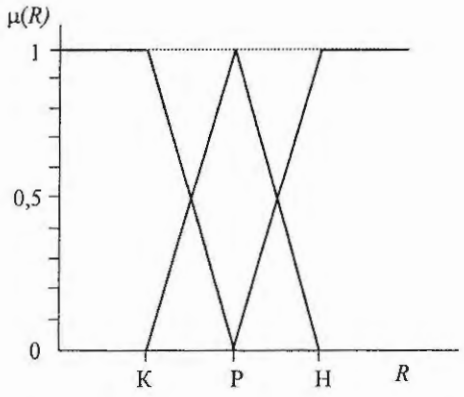


Рис.6. Функция принадлежности распределения нагрузки вдоль линии μ(*R*)

тания режим напряжения электроприемников, размещенных вдоль линии, существенно изменяется.

С помощью функций принадлежности, определенных для входных переменных, вычисляют их фактические значения для каждой линии $\mu(S_i)$, $\mu(L_i)$, $\mu(K_i)$, $\mu(U_i(P))$, $\mu(R_i)$ и для каждой предпосылки определяют степень уверенности правила относительно всех лингвистических термов.

При фаззификировании получены исходные данные в форме параметров, функций принадлежности и степеней принадлежности элементов параметров. На основе логических правил выполняются основные фаззи-логические вычисления, в результате которых производится выбор линии, определяющей режим напряжения. Исходная информация о стратегии управления хранится в виде базы знаний (БЗ) – условных логических выводов типа «ЕСЛИ..., ТО...». Экспертными методами должны быть определены терм-множества и функции принадлежности всех лингвистических переменных и алгоритмы фаззи-управляющих устройств. Совокупность правил и механизм обработки фаззи-информации в нечеткой экспертной системе формируют БЗ.

Для нахождения функции принадлежности $\mu_l(L; S, K, P(U), R)$, характеризующей *l*-е правило нечеткого условного логического вывода, можно использовать правило Мамдани

$$\mu_l(S_i; L_i; K_i, U_i(P), R_i) =$$

$$= \min\{\mu_{j1}(L_i); \mu_{j1}(S); \mu_{j2}(K_i); \mu_{j2}(U(P)_j); \mu_{j2}(R_i)\}.$$

Результирующая функция принадлежности $\mu_r(S_i; L_i; K_i, U_i(P), R_i)$, которая для *i*-й линии характеризует всю совокупность *l*-х правил, соединенных собой союзом ИЛИ, определяется как максимум среди всех функций принадлежности:

$$\mu_r(S_i; L_i; K_i, U_i(P), R_i) =$$

$$= \max\{\mu_l(S_i; L_i; K_i, U_i(P), R_i)\}.$$

Каждой *i*-й линии ($Л_i$) в соответствии с определенным логическим правилом присваивается степень тяжести режима (T_{j1}). Выбирается линия, которая определяет режим напряжения в распределительной сети ($Л_v$), по максимальной из определенных результирующих степеней принадлежности:

$$\mu_v(Y) = \max\{\mu_r(S_i; L_i; K_i, U_i(P), R_i)\}.$$

С использованием предложенной методики выбора определяющего присоединения разработана структура блока автоматического регулирования устройства РПН. Предполагается, что применение данного блока устройства РПН позволит снизить как потребление активной мощности в часы максимума нагрузок, так и годовое потребление электроэнергии.

Научный руководитель д.т.н. проф. *Б.Н.Абрамович*